

УДК 531.383

А.М. Клименко, студентка гр. ПГ-91мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ФІЛЬТРА КАЛМАНА ТА ФІЛЬТРА «КОВЗКЕ СЕРЕДНЄ»

Анотація. В роботі був проведений порівняльний аналіз сучасних фільтрів для мікромеханічних приладів: фільтра Калмана та фільтра «Ковзке середнє», який показав, що вони поділяються на фільтр Калмана, Фільтр "ковзке середнє". Наведено принцип дії кожного з типів фільтра, розглянуті їх недоліки та переваги. Досліджено роботи фільтрів Калмана та Ковзкого середнього.

Ключові слова: фільтри, фільтрація, фільтр Калмана, Фільтр "Ковзке середнє".

ВСТУП

Існує велике різноманіття фільтрів сигналів, але більша їх частина не дає прийнятних результатів для конкретного застосування. Тому для огляду було обрано два фільтри, які найкраще підходять для обробки сигналів мікромеханічних приладів, це фільтр Калмана та фільтр «Ковзке середнє» у даній роботі. Проведемо їх огляд, розглянемо принцип роботи та дослідимо на практиці, який з них дає найкращий результат фільтрації.

Фільтр Калмана. Для початку необхідно визначити величину, яка буде фільтруватися, це може бути координата, швидкість, прискорення, вологість, температура, тиск, і т.д. [1]

Для кращого розуміння принципу роботи фільтра Калмана, в [1] наведено приклад. Існує деякий об'єкт, який може пересуватися тільки вперед та тільки назад за рахунок керування. Знаючи вагу об'єкта, форму, покриття поверхні та ін, можна розрахувати, як контролюючий джойстик впливає на швидкість руху v_k .

Отже, координата об'єкта буде змінюватися за законом [2]:

$$x_{k+1} = x_k + v_k dt$$

На практиці не завжди можна врахувати в розрахунках невеликі похибки, що діють на об'єкт (вітер, вібрації, перешкоди на дорозі), тому справжня швидкість об'єкта буде відрізнятися від розрахованої. До правої частини написаного рівняння додається випадкова величина ξ_k :

$$x_{k+1} = x_k + v_k dt + \xi_k$$

У об'єкта є встановлений GPS, який визначає справжнє місцезнаходження об'єкта, але він не може виміряти точні координати x_k , оскільки при вимірюванні виникає помилка η_k , яка також є випадковою величиною. З датчика ми отримуємо дані з помилкою:

$$z_k = x_k + \eta_k$$

Задача полягає в тому, щоб при помилкових показаннях сенсора z_k , знайти хороше наближення для істинної координати об'єкта x_k . Таке наближення буде позначатися, як x_k^{opt} .

У загальному формулюванні задачі, як вказувалося вище, за координату x_k може бути прийнято будь-яку характеристику (температура, вологість, т.п.), а

член, який відповідає за контроль системи ззовні ми позначимо за u_k , отже рівняння для координати і показання навігатора будуть мати вигляд:

$$\begin{aligned} X_{k+1} &= X_k + u_k + \xi_k \\ Z_k &= X_k + \eta_k \end{aligned} \quad (1.1)$$

Фільтр «ковзке середнє». Ковзке середнє (moving average), - загальна назва для сімейства функцій, значення яких в кожній точці визначення дорівнюють середньому значенню вихідної функції за попередній період. Фільтри такого типу зазвичай використовуються з даними часових рядів для згладжування короткострокових коливань і виділення основних тенденцій або циклів [3]. Математично ковзке середнє є одним з видів згортки, і тому його можна розглядати, як фільтр низьких частот, що використовуються в обробці сигналів. Просте ковзке середнє, або арифметичне ковзке середнє чисельно дорівнює середньому арифметичному значень вихідної функції за встановлений період і обчислюється за формулою [4]:

$$SMA_t = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} p_{t-i} = \frac{p_t + p_{t-1} + \dots + p_{t-i} + \dots + p_{t-n+2} + p_{t-n+1}}{n},$$

де SMA_t - значення простого ковзкого середнього в точці t ;

n - кількість значень вихідної функції для розрахунку змінного середнього (згладжує інтервал), чим ширше згладжує інтервал, тим більш плавним виходить графік функції; p_{t-i} - значення вихідної функції в точці $t - i$.

Отримане значення простого рухомого середнього відноситься до середини обраного інтервалу, однак, традиційно його відносять до останньої точки інтервалу [5].

МОДЕЛЮВАННЯ ФІЛЬТРІВ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЇХ РОБОТИ

Моделювання фільтрів проводилося у програмному середовищі MATLAB та були побудовані їх Simulink – моделі. Було прийнято моделювати дискретні фільтри для отримання більш точних та комфортних у подальшій обробці результатів. На вхід кожного фільтру подавався однаковий чистий сигнал з шумом мікромеханічного акселерометру, частоту якого змінювали в ході експерименту в межах від 0 рад/с до 40 рад/с.

На рис. 1 зображений сигнал акселерометру з частотою 10 рад/с без адитивного шуму, який подається на вхід фільтру разом з шумом, і є однаковим для обох досліджуваних фільтрів. На рис. 2 вже наведено графік, який отримано після пропущення сигналу через фільтр Калмана. На графіку зображено три сигнали, що порівнюються: червоним кольором – чистий сигнал з акселерометру, жовтим – сигнал з шумом, синім – сигнал після фільтрації Калмана. Даний результат отримано при $R=1 \cdot 10^{-3}$ - дисперсія зовнішніх збурень та $Q=1 \cdot 10^{-3}$ - дисперсія вимірювального шуму та частоті 10 рад/с.

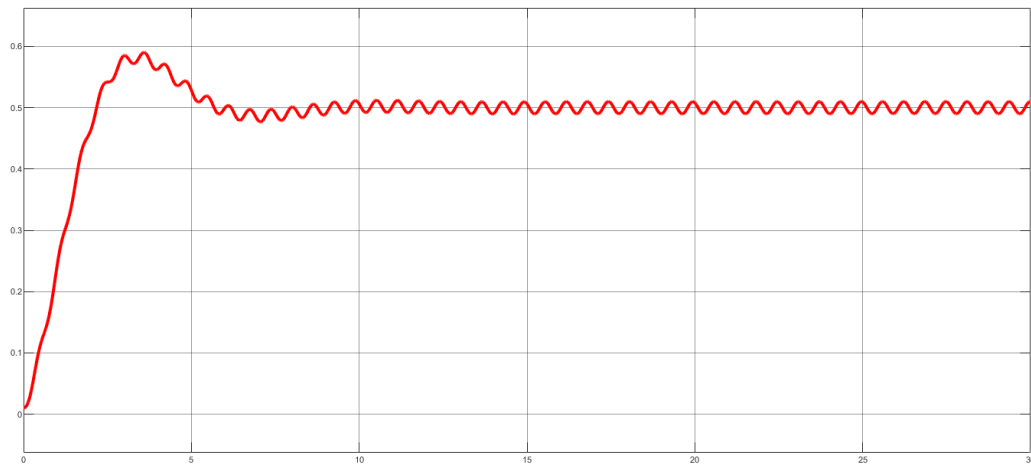


Рис. 1. Сигнал акселерометру, що подається на входи фільтрів.

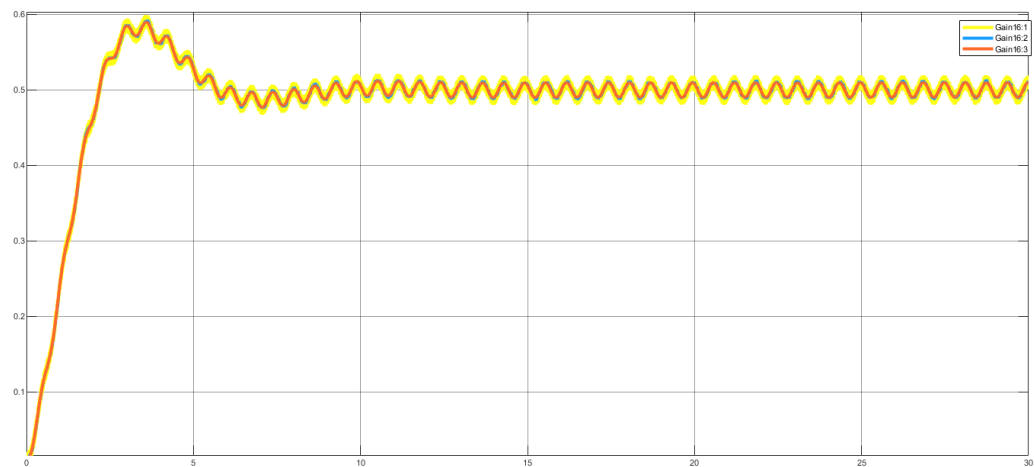


Рис. 2. Сигнал на виході фільтра Калмана.

На рис. 3 наведений графік сигналу після фільтрації «ковзним середнім», результат отримано при тих же заданих параметрах, що і при фільтрації Калмана. Також на графіку відображено червоним кольором – чистий сигнал з акселерометру, жовтим – сигнал з шумом, синім – сигнал після фільтрації «Ковзним середнім».

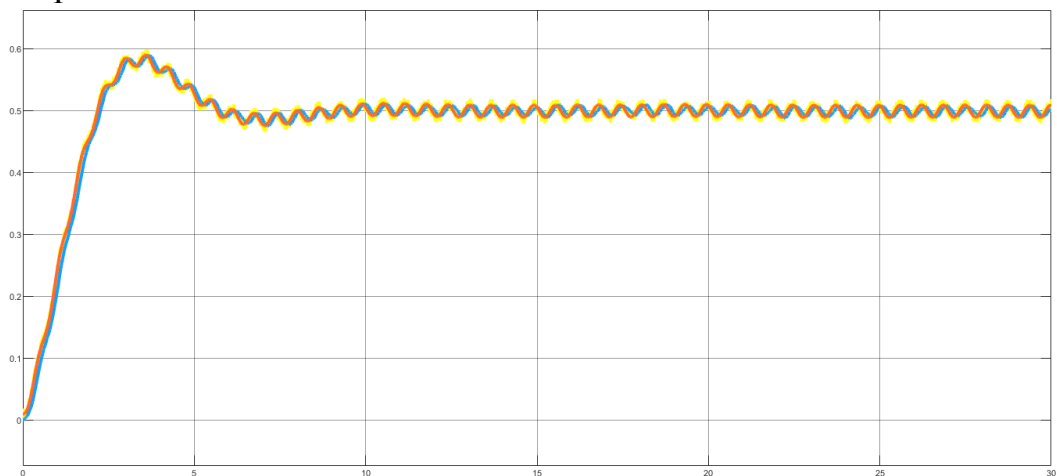


Рис. 3. Сигнал на виході фільтра «Ковзке середнє» .

Для аналізу даних було визначено середньоквадратичне відхилення (СКВ) отриманих після фільтрації сигналів, порівняно до сигналу без шуму.

Результати визначення СКВ показали, що в розглянутому діапазоні частот середньоквадратичне відхилення при використанні фільтра Калмана становить 0.1861 а, при використанні Ковзкого середнього становить 0.0188.

ВИСНОВКИ

На сьогодні необхідність і якісній фільтрації сигналів зростає з розробкою кожного мікромеханічного приладу. Оскільки технічний світ пригнє перейти від механіки до якісної мікромеханіки, а це неможливо без якісної обробки та фільтрації сигналів, то проведене дослідження є актуальним у нас час та корисним.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Распопов В. Я. «Микромеханические приборы: учебное пособие»/ Распопов В.Я.–М.: Машиностроение, 2007. – 400 с. :ил.
- [2] Матвеев В.В., «Основы построения бесплатформенных инерциальных систем», СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ Электроника», 2019.
- [3] MPU-6050 datasheet [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://arduino.ua/docs/RM-MPU-6000A.pdf>
- [4] ESP8266 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://esp8266.ru/>
- [5] Протокол I2C [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://ru.wikipedia.org/>

Науковий керівник: д.т.н. Бурау Н.І.